COLLÈGE
ANDRÉ-GRASSET

Guide de rédaction des rapports de laboratoire

SCIENCES DE LA
NATURE

Collège André-Grasset

2022-2023

Remerciement

Merci à Patrice Arpin, enseignant en chimie du Cégep de St-Jérôme pour le partage des images et pour avoir contribué à nous inspirer pour l'écriture de ce guide de rédaction des rapports de laboratoire.

Table des matières

1. Avant-propos....p.4
2. Normes de présentation d'un cahier de laboratoire....p.4
3. Normes de présentation d'un rapport de laboratoire....p.5
   - 3.1 Types de rapport....p.5
     - 3.1.1 Rapport avec gabarit....p.5
     - 3.1.2 Rapport sans gabarit....p.5
   - 3.2 Style de rédaction....p.5
   - 3.3 Disposition générale....p.6
4. Sections d'un rapport de laboratoire....p.7
   - 4.1 Page titre....p.7
   - 4.2 Table des matières....p.8
   - 4.3 Résumé....p.9
   - 4.4 Introduction....p.9
   - 4.5 Théorie et méthodologie....p.9
   - 4.6 Matériel et manipulations....p.10
   - 4.7 Présentation des résultats....p.10
   - 4.8 Discussion....p.10
     - 4.8.1 Discussion dirigée....p.10
     - 4.8.2 Discussion selon un cadre traditionnel....p.11
   - 4.9 Conclusion....p.14
   - 4.10 Annexes....p.15
   - 4.11 Bibliographie....p.15
5. Planification des expériences....p.16
   - 5.1 Schéma des manipulations....p.16
6. Notions sur les prises de mesures et les incertitudes....p.18
   - 6.1 Chiffres significatifs....p.18
     - 6.1.1 Règles pour déterminer le nombre de chiffres significatifs....p.18
   - 6.2 Règles d'écriture....p.19
     - 6.2.1 Règles d'écriture d'une mesure et de son incertitude en laboratoire....p.19
   - 6.3 Incertitudes sur les instruments....p.20
   - 6.4 Précision et exactitude....p.23
7. Tableaux....p.24
   - 7.1 Normes de présentation d'un tableau....p.24
     - 7.1.1 Numéro et titre de tableau....p.24
     - 7.1.2 Encadré....p.26
     - 7.1.3 Valeurs sous le tableau....p.26
   - 7.2 Tableau de données uniques....p.28
   - 7.3 Tableau de série de données....p.29
8. Calculs....p.35
   - 8.1 Normes de présentation des calculs....p.35
   - 8.2 Calcul sans considération de l'incertitude....p.35
     - 8.2.1 Règles pour déterminer le nombre de chiffres significatifs dans les calculs sans considération de l'incertitude....p.35
   - 8.3 Calcul de l'incertitude par la méthode des extrêmes....p.36

8.4 Calcul de l'incertitude relative……p.41
8.5 Calcul de l'écart en pourcentage……p.42
9. Figures……p.43
9.1 Normes de présentation d'une figure ……p.43
9.2 Graphique en nuage de points ……p.45
9.2.1 Règles de conception d'un graphique en nuage de points ……p.45
9.2.2 Incertitude sur la courbe de tendance par la fonction DROITEREG de *Microsoft Excel*……p.46
9.3 Diagramme de comparaison……p.47
9.3.1 Règles de conception des diagrammes de comparaison……p.47
9.3.2 Résultats égaux……p.48
9.3.3 Résultats inégaux……p.49
9.4 Dessin d'observation……p.50

1. Avant-propos

Le rapport de laboratoire est un outil de communication dont la présentation s'appuie sur une méthodologie rigoureuse. Toutefois, les règles de rédaction n'étant pas universelles, chaque enseignant, département ou institution établit ses propres exigences auxquelles le rédacteur est tenu de se conformer. Le présent guide se veut donc un sommaire des règles de rédaction, adoptées conjointement par les différentes disciplines, qui devront être respectées dans le cadre de tous les rapports de laboratoire en Sciences de la nature au Collège André-Grasset. De nombreux exemples sont également présents dans le guide afin de vous permettre de bien visualiser la présentation attendue. Ceux-ci sont facilement repérables à l'intérieur des encadrés gris parsemés tout au long du guide.

2. Normes de présentation d'un cahier de laboratoire

Le travail en laboratoire comprend un nombre important de manipulations et de mesures. Un petit détail, une façon différente d'ajouter des réactifs, un montage différent, tout peut concourir à modifier (et parfois de façon assez drastique) les résultats d'une expérience. Or, l'édifice de la science est basé sur la notion de reproductibilité. Les résultats ne sont significatifs que s'ils peuvent être reproduits (dans les limites des marges d'erreur) par une autre personne. Le cahier de laboratoire permet de garder des traces au jour le jour de ce qui a été fait afin que quiconque qui le consulte, avec le texte de l'expérience, puisse reproduire le travail effectué. Pour ce faire, le cahier de laboratoire doit être consciencieusement rédigé et doit respecter les modalités suivantes :

- Le cahier de laboratoire doit être relié et comprendre au moins 25 pages (un cahier « Canada » suffit).
- Le nom de l'étudiant, le nom du cours et le numéro de groupe sont indiqués sur la page couverture.
- Toutes les pages du cahier sont numérotées.
- La première page est réservée à la table des matières qui sera remplie au fur et à mesure.
- Chaque expérience débute sur une page de droite. En haut, on y trouve le titre de l'expérience, souligné et la date de réalisation.
- On y inscrit les réponses aux questions de préparation au laboratoire lorsque nécessaire.
- Pour un rapport remis après la séance, toutes les mesures nécessaires à la rédaction du rapport sont inscrites sous forme de tableau selon les normes du présent guide, sans oublier les valeurs d'un coéquipier et les valeurs sous le tableau s'il y a lieu. Par contre, il n'est pas nécessaire d'inscrire les mesures si un tableau pour les recevoir est déjà fourni ou si le rapport est remis sur place. Si des calculs doivent être faits avant la séance de laboratoire ou pendant celle-ci, ils devront être inclus dans le cahier.
- Toutes les inscriptions sont écrites lisiblement et à l'encre permanente non effaçable. On évite d'utiliser les rubans correcteurs dans les inscriptions de données expérimentales. Une inscription erronée sera biffée d'un trait fin pour qu'au besoin, elle puisse être relue. La valeur scientifique repose sur la possibilité de consulter toutes les informations recueillies**.**

3. Normes de présentation d'un rapport de laboratoire

3.1 Types de rapport

On distingue deux types de rapport de laboratoire :

3.1.1 Rapport avec gabarit

Sauf exception, la remise de ces rapports se fait au laboratoire à la fin de la période d'expérimentation. Il s'agit d'un rapport où le gabarit est fourni par l'enseignant. On le complète selon les modalités suivantes :

- La rédaction de ces rapports est faite en totalité à l'encre permanente non effaçable et les rubans correcteurs sont interdits. Une inscription erronée sera biffée d'un trait fin pour qu'au besoin, elle puisse être relue.
- Le crayon à la mine peut être employé uniquement pour la réalisation de dessins d'observations.
- Il n'y a pas de page titre. Le(s) nom(s) de(s) étudiant(s), le numéro de groupe et le numéro de place sont inscrits dans l'entête.

3.1.2 Rapport sans gabarit

Il s'agit d'un rapport sans gabarit à rédiger complètement à l'ordinateur. Pour ce type de rapport, suivre la disposition générale présentée à la section 3.3. La remise de ces rapports se fait selon les modalités fixées par l'enseignant.

3.2 Style de rédaction

Le rapport de laboratoire rend compte de résultats scientifiques de façon claire, efficace et sans détour.

- Le style impersonnel, neutre et sans commentaire subjectif est de mise. On ne s'exprime pas au « je », mais le « on » et le « nous », qui indiquent une appartenance à une communauté scientifique, sont permis avec modération.

  Exemples :

  a) Une température de (22,3 ± 0,1) °C est mesurée.
  ET NON : J'ai obtenu une température de (22,3 ± 0,1) °C.

  b) Un précipité granuleux bleu est observé.
  ET NON : J'observe avec stupéfaction un précipité bleu épouvantablement granuleux.

  c) La masse volumique de la solution de glucose est de (1,015 ± 0,001) g/mL, ce qui concorde avec la valeur de référence de (1,014 ± 0,001) g/mL.
  ET NON : Je constate que mon résultat est pareil à celui fourni.

3.3 Disposition générale

La disposition générale d'un rapport de laboratoire concerne les rapports remis sans gabarit. Ce type de rapport est rédigé à l'ordinateur selon les règles de présentation suivantes :

- Le texte doit être écrit avec la police Calibri de taille 11 points ou Arial 10 points.
- L'espacement entre les lignes du texte doit être d'un interligne et demi.
- Le texte doit être justifié à gauche et à droite.
- Le titre de chaque section du rapport de laboratoire doit être centré, écrit en majuscule et en gras.
- La présentation des différentes sections du rapport de laboratoire doit se faire dans un ordre chronologique et logique de rédaction. Voici l'ordre de présentation des différentes sections :

    - **PAGE TITRE**
    - **TABLE DES MATIÈRES**
    - **RÉSUMÉ**
    - **INTRODUCTION**
    - **THÉORIE ET MÉTHODOLOGIE**
    - **MATÉRIEL ET MANIPULATIONS**
    - **PRÉSENTATION DES RÉSULTATS**
    - **DISCUSSION**
    - **CONCLUSION**
    - **ANNEXES**
    - **BIBLIOGRAPHIE**

Il est à noter que l'ordre des tableaux, figures et calculs de la section présentation des résultats est variable selon la chronologie de rédaction. Par exemple, une figure qui présente des données issues d'un calcul sera précédée d'un exemple du calcul impliqué.

- Toutes les pages du rapport doivent être paginées à l'exception de la page titre.
- L'impression du rapport doit se faire idéalement recto verso.
- Le rapport doit être agrafé.

4. Sections d'un rapport de laboratoire

4.1 Page titre

On présente la page titre selon le modèle de la figure 1.

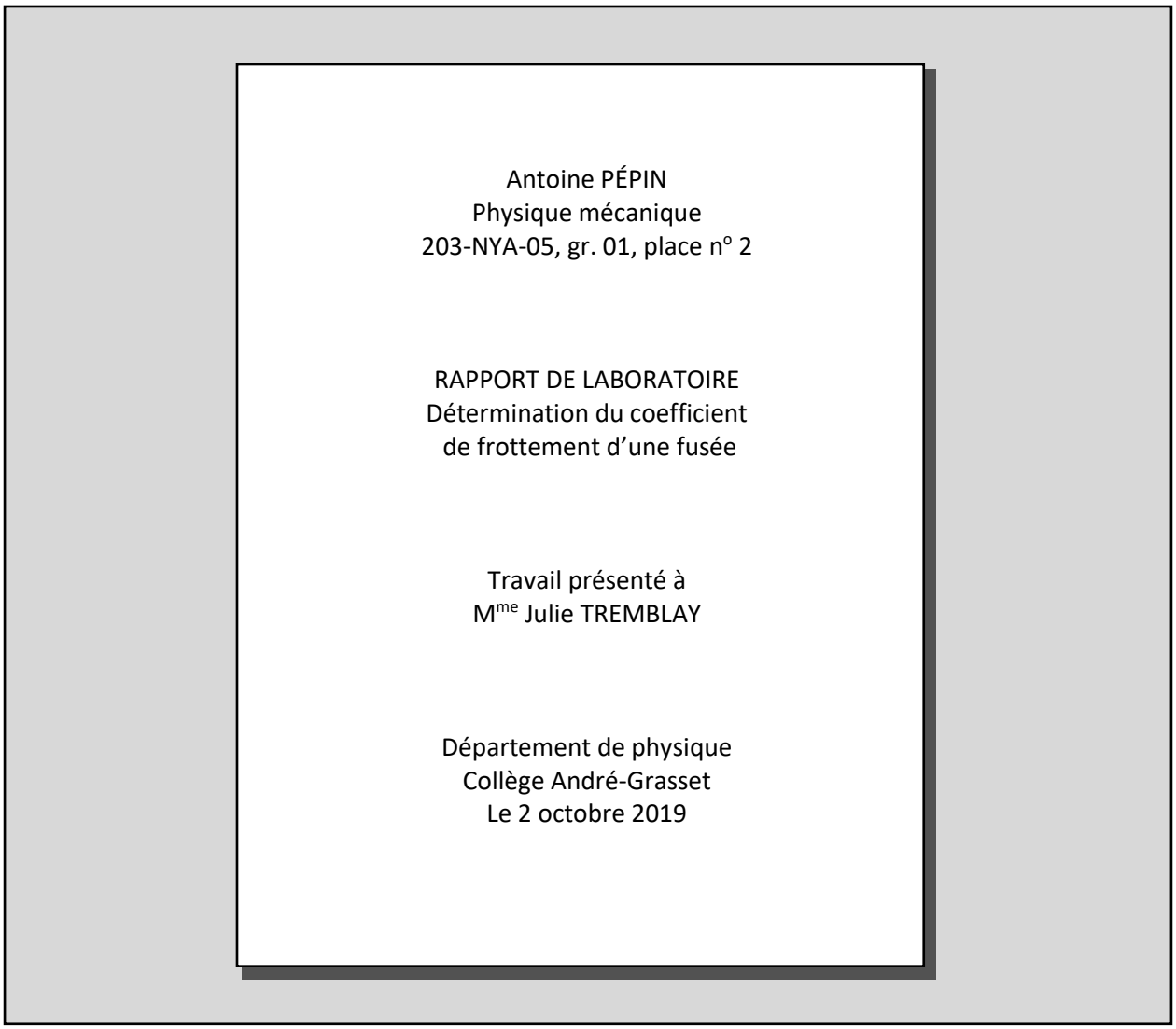


FIGURE 1
Présentation attendue dans un rapport d'une page titre

4.2 Table des matières

La table des matières doit suivre les règles de présentation suivantes :

- Les titres des sections doivent être écrits en lettre majuscule.
- Les numéros de pages associés à chaque section doivent être alignés à droite.

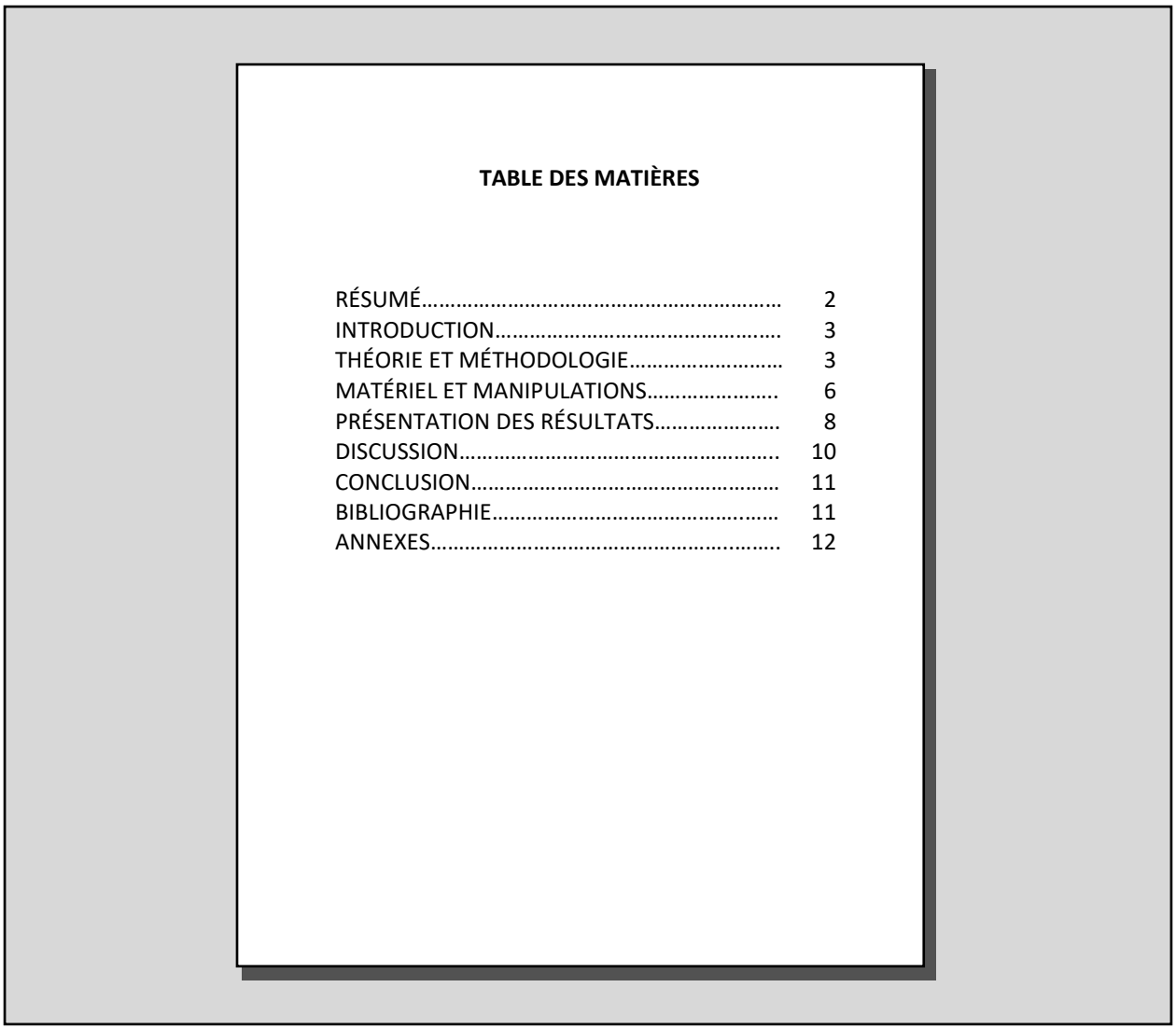


FIGURE 2
Présentation attendue dans un rapport d'une table des matières

4.3 Résumé

Un résumé scientifique permet d'obtenir un aperçu de l'ensemble de l'expérimentation. On y retrouve le contexte expérimental, l'énoncé du problème, les moyens utilisés (méthode expérimentale), les résultats et l'implication de ces résultats. Il doit permettre de comprendre l'ensemble de l'expérimentation sans la nécessité de consulter le rapport en respectant les consignes suivantes :

- Le résumé est présenté à simple interligne en français suivi de sa traduction en anglais.
- Le texte du résumé en français doit faire entre 200 et 250 mots et est précédé du terme RÉSUMÉ en majuscule suivi d'un point sur la même ligne.
- Une liste de 5 mots-clés est située sous le résumé. Celle-ci est séparée du résumé par un interligne simple et est précédée du terme Mots-clés en minuscule suivi de deux points.
- Un interligne simple sépare le résumé en français de sa traduction anglaise. Le texte du résumé en anglais est précédé du terme ABSTRACT en majuscule suivi d'un point sur la même ligne.
- La liste des 5 mots-clés est également traduite en anglais. Elle est séparée du résumé en anglais par un interligne simple et est précédée du terme Keywords en minuscule suivi de deux points.

4.4 Introduction

L'introduction est divisée en trois parties distinctes :

1) Sujet amené
   Il s'agit ici de mettre brièvement en contexte le sujet de l'expérience. On débute avec un thème général et on se rapproche graduellement du sujet de l'expérience. On évite les termes trop larges tels que « Il y a des centaines d'années… ».

2) Sujet posé
   On énonce le but de l'expérience et, le cas échéant, l'hypothèse à vérifier. Le but consiste à révéler une intention de faire, alors que l'hypothèse vise à prédire un résultat très précis.

3) Sujet divisé
   Le sujet divisé ne représente pas les sections du rapport. On y expose plutôt très succinctement la méthodologie (méthode expérimentale) retenue pour atteindre le but et vérifier l'hypothèse émise.

4.5 Théorie et méthodologie

La théorie pertinente à l'atteinte du but ou de l'hypothèse à vérifier est exposée et appuyée de références. On mentionne ce qui est déjà connu sur le sujet de l'expérience et on se pose la question : « Qu'est-ce que le lecteur doit savoir pour comprendre l'expérience? ».

La méthodologie ou la méthode expérimentale retenue est présentée. On décrit la manière dont on va procéder pour réaliser l'expérience. Il s'agit d'une description générale de la méthode expérimentale et on ne va pas dans le niveau de détail du protocole. On ne met pas non plus des quantités comme des grammes ou des millilitres. On se pose la question : « Comment peut-on procéder pour atteindre les résultats? ».

Pour appuyer la théorie et la méthodologie, on insère parfois un tableau, une figure ou une formule. Si c'est le cas, on les numérote pour y faire référence au besoin dans le texte.

4.6 Matériel et manipulations

On énumère d'abord dans cette section les instruments de mesure utilisés et leur précision. Parfois, une liste du matériel utilisé peut aussi être exigée. Ensuite, un protocole détaillé est présenté. Le protocole est suffisamment explicite pour qu'une autre personne puisse répéter l'expérience et obtenir des résultats comparables.

4.7 Présentation des résultats

Cette section regroupe les éléments suivants :

- Les tableaux et les figures (incluant les diagrammes de comparaison).
- Un exemple de chaque type de calcul, y compris les calculs d'incertitude relative, d'écart en pourcentage ou tout autre calcul nécessaire à l'interprétation des résultats.

4.8 Discussion

La discussion constitue une section centrale dans un rapport de laboratoire. Elle a pour but d'analyser de façon objective et critique les résultats obtenus à la suite de l'expérimentation ainsi que la démarche utilisée. C'est le moment d'interpréter les résultats obtenus en les reliant à la théorie et à la méthodologie (méthode expérimentale). Deux types de discussion peuvent être demandés : la discussion dirigée ou la discussion selon un cadre traditionnel.

4.8.1 Discussion dirigée

L'étudiant répond à des questions posées par l'enseignant. Ces questions portent sur la théorie, les techniques expérimentales, la méthodologie (méthode expérimentale) ou l'interprétation des résultats. Par ce type de discussion, l'enseignant valide la compréhension de l'étudiant en lien avec différents phénomènes de l'expérience.

4.8.2 Discussion selon un cadre traditionnel

La discussion selon un cadre traditionnel s'articule en trois paragraphes :

1) Rappel du but et de l'hypothèse de départ
   On débute la discussion en rappelant le but de l'expérience et en énonçant les résultats attendus, dans le cas de valeurs de référence, ces dernières sont présentées avec unités et incertitudes.

2) Analyse des résultats
   Dans cette partie de la discussion, les résultats obtenus en lien avec le but sont présentés de façon succincte afin de les comparer à des valeurs de référence ou aux résultats attendus et entre eux. Il ne suffit pas de répéter les résultats, mais bien de les interpréter et de les confronter aux notions théoriques et méthodologiques.

3) Critique de la méthodologie et améliorations possibles
   Dans cette dernière partie, on évalue les causes d'erreur et d'incertitude tout en suggérant des améliorations aux lacunes mentionnées.

Les résultats sont expliqués et appuyés par des références pertinentes. Ces références peuvent, entre autres, être issues de la littérature ou renvoyer le lecteur à un tableau, à un calcul ou à une figure du rapport. Dans le cas où on renvoie le lecteur à une partie du rapport, on peut l'indiquer directement dans le texte ou à la fin d'une phrase.

Exemple :
Un précipité granuleux bleu est observé au tableau 1.
OU ENCORE : Un précipité granuleux bleu est observé (tableau 1).

Précisions sur le contenu de la discussion :

2) Analyse des résultats

***Exemple d'explication des résultats, lorsque comparés aux résultats attendus*:**
Dans le tableau 1, nous remarquons que les trois cobayes ont vu leur fréquence cardiaque augmenter 30 minutes après l'ingestion de 473 mL de bière à 5% d'alcool. Ces résultats correspondent à ce qui était attendu et concordent avec la théorie. Tel que mentionné dans le contexte théorique, l'alcool agit directement sur la paroi des vaisseaux sanguins situés en périphérie (au niveau de la peau) en provoquant une vasodilatation (Altura et Altura, 1982, p. 2447). Ainsi, c'est cet effet vasodilatateur qui est responsable de l'augmentation de la fréquence cardiaque. En effet, le cœur doit s'adapter et augmenter la fréquence des battements afin d'éviter une chute de la pression sanguine. Évidemment, il est important pour l'organisme de maintenir la pression sanguine relativement constante (homéostasie) afin de s'assurer que les cellules reçoivent l'oxygène et les nutriments nécessaires à leur bon fonctionnement.

***Exemple d'explication des résultats, lorsque comparés entre eux*:**
Pour le cobaye 2, nous remarquons une augmentation constante entre le t_0 et le t_{30}. Toutefois, l'augmentation totale est relativement faible (4 bpm) comparativement aux cobayes 1 (8 bpm) et 3 (10 bpm). Évidemment, tout le monde ne réagit pas exactement de la même manière à l'alcool. Une explication plausible à la faible augmentation de la fréquence cardiaque du cobaye 2, comparativement aux deux autres cobayes, pourrait être le sexe des individus. Pour une même quantité consommée, l'alcool est plus nocif pour une femme que pour un homme. Cette différence s'explique, entre autres, par le fait que les femmes ont généralement un taux de graisses plus élevé que les hommes et une moindre quantité de liquides. Or, comme l'alcool est hydrophile, il se diffuse plus aisément dans les liquides corporels. Donc pour un poids égal et une consommation d'alcool équivalente, le taux d'alcool dans le sang d'une femme sera normalement plus élevé que celui d'un homme (Institut suisse de prévention de l'alcoolisme et autres toxicomanies, 2004, p. 4). À cet effet, il serait souhaitable lors d'une prochaine expérimentation de préciser le sexe des cobayes dans les tableaux de résultats. Ce résultat pourrait également être attribuable à la taille des individus. Pour la même raison que celle énoncée précédemment, chez une personne de grande stature l'alcool sera réparti dans une plus grande quantité de liquides corporels d'où un taux d'alcool plus faible (Institut suisse de prévention de l'alcoolisme et autres toxicomanies, 2004, p. 4).

2) Analyse des résultats

- Répondre au(x) but(s) en donnant les résultats expérimentaux (avec unités, incertitudes et numéro d'inconnu le cas échéant). On donne seulement les résultats expérimentaux qui répondent au(x) but(s).
- Analyser le diagramme de comparaison pour porter un jugement sur l'exactitude des résultats. Si les résultats sont inégaux ou inexacts, on complète l'analyse du diagramme de comparaison en justifiant l'écart entre les résultats à l'aide de l'écart en pourcentage. Le diagramme de comparaison ainsi que le calcul de l'écart en pourcentage sont présentés dans la section présentation des résultats.

Exemple d'analyse d'un diagramme de comparaison :
On observe sur le diagramme de comparaison de la figure 1 que les barres d'erreur du résultat expérimental chevauchent les barres d'erreur de la valeur de référence. Cette plage de valeurs communes permet d'affirmer que les résultats sont égaux. Ainsi, la concentration molaire volumique en glucose de l'inconnu C-8 est exacte.

- Évaluer la fiabilité des résultats.
    - Quelques essais d'une même expérience doivent être réalisés pour valider un résultat expérimental. Lorsque la répétition de l'expérience permet d'obtenir une valeur commune entre les résultats des essais, ces derniers sont jugés reproductibles. La reproductibilité des résultats est un critère essentiel à la validation d'un bon résultat expérimental, à la condition que chaque résultat soit précis (petite incertitude relative).

Lorsque quelques essais ont été réalisés, on évalue la reproductibilité des résultats par l'analyse d'un diagramme de comparaison et de l'incertitude relative.

- Une figure obtenue doit être comparée à une figure de référence pour valider un résultat expérimental. Par exemple, il faut informer le lecteur qu'une courbe de calibration avec une relation linéaire est conforme à la prédiction.

3) Critique de la méthodologie et améliorations possibles

On cherche à expliquer l'inégalité (inexactitude) des résultats par rapport à la valeur de référence. Dans un cas où les résultats sont égaux (exacts), on procède de la même manière dans l'optique d'optimiser la méthode, ce qui permettra d'améliorer le résultat final. Ainsi, dans cette partie, vous devez préciser:

- Causes d'erreur de la méthode expérimentale
  Les causes d'erreur sont des erreurs inhérentes à une méthode et non des erreurs de manipulation. On doit discuter des problèmes découlant du déroulement « normal » de l'expérience. On mentionne les causes d'erreur prédominantes et on justifie, si possible, pour chacune d'elles l'effet sur le résultat final; c'est-à-dire qu'on évalue si le résultat final est surévalué ou sous-évalué. Finalement, on évoque la cause d'erreur principale parmi les causes d'erreur mentionnées, ou encore on indique que les causes d'erreurs mentionnées sont sur un pied d'égalité. Une erreur de manipulation est mentionnée brièvement seulement si elle s'est réellement produite et seulement si elle affecte de façon significative le résultat final. On ne mentionne pas cette erreur de manipulation si on a eu temps de refaire l'expérience correctement.

  Exemple de cause d'erreur :
  Après le temps recommandé de chauffage de 5 minutes, l'échantillon est encore humide et un rendement de (104 ± 1) % est obtenu. Le temps de chauffage pour assécher l'échantillon est insuffisant et il y a un excès d'eau dans l'échantillon. Cette cause d'erreur surévalue le rendement.

- Causes d'incertitude de la méthode expérimentale
  L'analyse des causes d'incertitude permet de porter un jugement sur la précision des résultats. Pour y arriver, on calcule d'abord l'incertitude relative du résultat final de l'expérience. On calcule ensuite l'incertitude relative de chaque valeur qui sert à chaque calcul. On poursuit en identifiant les causes d'incertitude prédominantes qui permettent d'expliquer majoritairement l'incertitude relative du résultat final, en sachant que l'addition de toutes les incertitudes relatives non arrondies correspond également à l'incertitude relative du résultat final. Finalement, on évoque la cause d'incertitude principale parmi les causes d'incertitude mentionnées. Il est important de noter qu'une cause d'incertitude correspond au choix d'un instrument ou à l'impact d'une formule de calcul. Le calcul d'incertitude relative ne sert qu'à appuyer une cause d'incertitude avancée.

Exemple de cause d'incertitude :
Un volume de (15,0 ± 0,5) mL d'une solution sucrée a été prélevé au moyen d'un cylindre gradué de 50 mL précis au mL. Cette mesure génère une incertitude relative de 3,3 % ce qui explique en grande partie l'incertitude relative de la masse volumique (résultat final) de 4,0 % (tableau 4). Ainsi, le choix du cylindre gradué de 50 mL précis au mL constitue la cause d'incertitude prédominante dans la détermination de la masse volumique.

- Améliorations des causes d'erreur et d'incertitude évoquées
  Il convient de proposer des améliorations pour toutes les causes d'erreur et d'incertitude évoquées dans la discussion. Afin d'éviter les répétitions inutiles, les améliorations accompagnent directement les causes d'erreur et d'incertitude lorsqu'elles sont mentionnées.

4.9 Conclusion

On termine le rapport avec une brève conclusion qui inclut, dans l'ordre, les quatre parties suivantes :

1) Rappel du but et, le cas échéant, la (les) hypothèse (s) à vérifier.

2) Rappel des résultats en lien avec le but et, le cas échéant, la (les) hypothèse (s) (avec unités, incertitudes et numéro d'inconnu et/ou de carton lorsqu'applicable).

3) Diagnostic final
   Confirmer/infirmer, le cas échéant, l'hypothèse à vérifier. Lorsqu'il y a une valeur de comparaison, on indique au lecteur si le résultat expérimental est égal (exact) par rapport à cette valeur. Dans le cas d'inégalité entre les résultats, on indique aussi l'écart en pourcentage. Dans tous les cas, les valeurs sont accompagnées de leur incertitude.

4) Ouverture
   On propose ici de nouvelles idées expérimentales ou de nouvelles hypothèses à vérifier. On se pose la question : « Qu'est-ce qui serait intéressant à vérifier pour améliorer l'expérience ou pour poursuivre le projet de recherche? »

4.10 Annexes

Pour ne pas alourdir inutilement le texte du rapport de laboratoire, de longs tableaux ou certaines figures sont insérés au rapport sous forme d'annexes. L'existence de ces annexes doit être mentionnée au fur et à mesure dans le rapport et elles doivent être numérotées (voir la fin de la section 4.8.2 pour un exemple).

4.11 Bibliographie

La 7e édition du style APA (*American Psychological Association*) est préconisée pour citer les références. Les consignes à suivre en matière de normes bibliographiques pour le style APA sont décrites sur le site Internet Mon Diapason. Il est important de suivre au détail près chacune des consignes selon les catégories de documents (livres, revues, sites Internet…) à citer.

Un exemple de bibliographie regroupant différentes catégories de documents est disponible à l'adresse suivante :

Mon Diapason

Voici des éléments importants à considérer pour citer les références correctement.

- Lorsqu'on cite une référence dans un rapport de laboratoire, on doit la citer à deux endroits : l'une dans le texte et l'autre dans la bibliographie.
- Lors de la rédaction d'un rapport de laboratoire, il est fréquent d'utiliser la paraphrase, c'est-à-dire qu'on reprend dans nos mots l'information provenant de la référence. Il faut à ce moment indiquer dans le texte, entre parenthèses, à la fin de la phrase ou au bout de quelques phrases une partie de la référence.
- Lorsque plusieurs références ont le même auteur et la même date de publication, ajouter une lettre minuscule après la date pour les distinguer les unes des autres.
- Les normes de présentation générale de la bibliographie sont les suivantes :
  - Les références sont présentées en ordre alphabétique d'auteur. En cas d'absence d'auteur, la référence est classée selon le titre.
  - Un retrait négatif est présent à la deuxième ligne de chaque référence.
- On évite de mettre en référence l'encyclopédie *Wikipédia*, car on ne connaît pas la crédibilité des auteurs. En revanche, on peut se servir des références citées dans un article de *Wikipédia* comme point de départ pour une recherche.

5. Planification des expériences

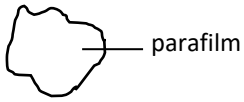
Avant chaque séance de laboratoire, il est essentiel de lire attentivement le protocole de laboratoire afin de connaître à l'avance le travail et les manipulations à effectuer. Une bonne planification du travail vous évitera des erreurs malencontreuses et des pertes de temps. Pour certains laboratoires, elle peut impliquer une recherche d'informations, la préparation de tableaux de données, un résumé du protocole, la schématisation des manipulations à réaliser, etc.

5.1 Schéma des manipulations

La réalisation d'un schéma des manipulations au laboratoire permet d'avoir une bonne vue d'ensemble du travail à accomplir afin d'être le plus efficace possible.

- Le schéma doit être soigneusement réalisé à l'encre sur une feuille blanche ou dans le cahier de laboratoire, selon les consignes de l'enseignant, et devrait idéalement entrer sur une ou deux pages tout au plus. La conception d'une ébauche préalable est fortement suggérée afin de déterminer la structure et l'espace requis pour représenter l'ensemble des manipulations.
- Un titre centré doit se retrouver en haut du schéma. Pour que celui-ci soit facilement repérable, il doit être souligné ou encadré.
- Le schéma doit être clair, concis et aéré. Il doit inclure de façon chronologique toutes les informations nécessaires pour réaliser l'expérimentation du début à la fin sans avoir à consulter le protocole détaillé. Il faut donc penser à y inclure des éléments comme le nom d'une solution, la température et le temps d'incubation, le volume des contenants, le format des micropipettes à utiliser, la valeur d'une masse à peser…
- Le schéma peut comporter quelques mots explicatifs, toutefois les phrases complètes sont à proscrire. Lorsque cela est possible, il est préférable d'utiliser des abréviations ou des symboles courants.
- Il ne faut pas nommer l'action ou le matériel de laboratoire lorsque le dessin est suffisamment clair en lui-même. Toutefois, si ce n'est pas le cas, on peut mettre un ou quelques mots explicatifs directement à côté de l'illustration pour plus de clarté.

Exemples :



- On ne tient pas compte des chiffres significatifs lorsqu'on inscrit des valeurs numériques.
- Lorsque toutes les manipulations d'une expérience se déroulent en asepsie (en champ stérile), il est possible d'en ajouter la mention asepsie dans le coin supérieur gauche du schéma pour éviter d'alourdir inutilement le schéma en redessinant un brûleur à chaque étape du protocole.
- Il est possible d'ajouter des bulles ou de la couleur pour mettre en évidence certaines informations.

- Les étapes ne sont pas numérotées, sauf lorsque des actions sont réalisées presque simultanément et que l'ordre est important, comme lorsqu'il faut ajouter plusieurs ingrédients dans un même contenant. Autrement, c'est l'utilisation de flèches qui permet de suivre le déroulement des manipulations.
- Le schéma doit être intégrateur et est construit préférablement de haut en bas. Toutefois, si l'expérimentation comporte beaucoup d'étapes, il est possible de l'organiser autrement, tel qu'en serpentin ou en U.

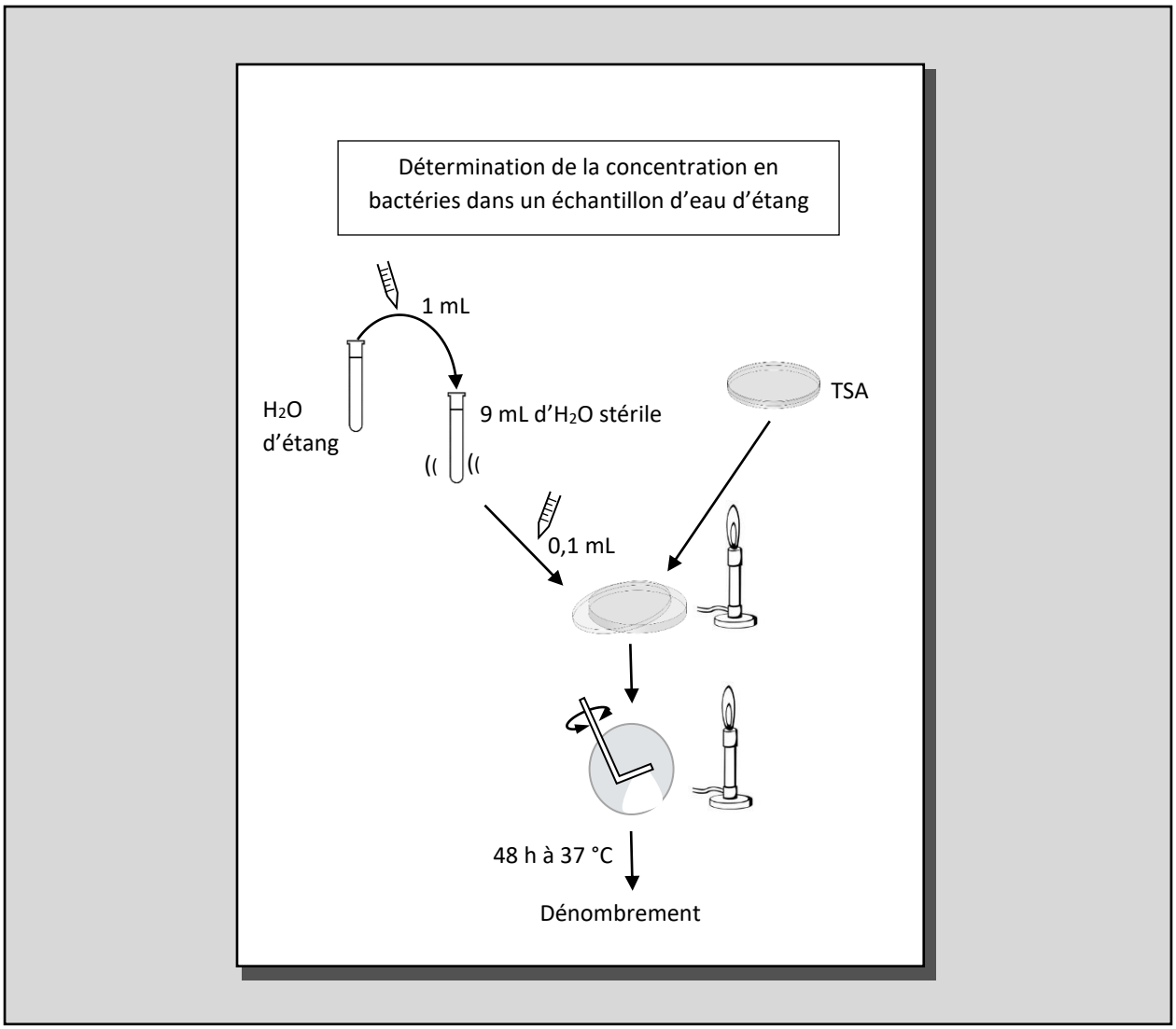


FIGURE 3
Présentation attendue d'un schéma des manipulations

6. Notions sur les prises de mesures et les incertitudes

Lorsqu'on prend des mesures expérimentales, ces dernières comportent des incertitudes. Elles sont occasionnées par la précision des appareils et divers autres facteurs faisant en sorte qu'il est impossible d'être précis à 100 %.

6.1 Chiffres significatifs

Un résultat scientifique est toujours rapporté avec un nombre restreint de chiffres. Les chiffres rapportés sont dits significatifs et ils sont déterminés à partir du type d'instrument utilisé en laboratoire pour prendre une mesure expérimentale. Par exemple, on exprime en laboratoire la masse d'une éprouvette par (20,0000 ± 0,0001) g si l'on utilise une balance analytique ou par (20,00 ± 0,01) g si l'on utilise une balance moins précise à plateau ouvert. Toutefois, pour simplifier l'écriture, il arrive que l'on supprime la notation encombrante ± et que l'on rapporte la mesure selon son nombre de chiffres significatifs. Si on reprend l'exemple précédent, l'expression de la masse de l'éprouvette de 20,00 g indique au lecteur que la masse peut être prise sans ambiguïté au centième de gramme près. Ainsi, il importe de rapporter tous les zéros significatifs pour conserver la précision attendue. On peut donc affirmer que la masse de 20,00 g comprend 4 chiffres significatifs, alors que la masse de 20,0000 g comprend 6 chiffres significatifs.

6.1.1 Règles pour déterminer le nombre de chiffres significatifs

- Tous les chiffres différents de zéro sont significatifs.

- Cas des zéros :

  - Les zéros compris entre deux chiffres différents de zéro sont significatifs.

    Exemple :
    Le nombre 201 a trois chiffres significatifs et le nombre 25,002 a cinq chiffres significatifs.

  - Les zéros avant le premier chiffre significatif de 1 à 9 ne sont pas significatifs. Ces zéros ne servent qu'à donner l'ordre de grandeur du nombre.

    Exemple :
    Le nombre 0,000 024 a deux chiffres significatifs.

  - Les zéros qui terminent un nombre sont significatifs.

    Exemple :
    Le nombre 0,300 a trois chiffres significatifs et le nombre 1000 a quatre chiffres significatifs.

- Cas des nombres entiers. Le cas du nombre 1000 est particulier. Il peut comprendre quatre chiffres significatifs si c'est une mesure obtenue en laboratoire, mais si ça représente un entier ou une valeur définie le concept de chiffres significatifs ne s'applique plus et on considère plutôt ce nombre illimité (1000,000…).

  Exemple :
  Les nombres entiers suivants ont un nombre illimité de chiffres significatifs : 1000 étudiants dans un collège ou encore la conversion de 1 kilomètre en mètre en utilisant le facteur de conversion de 1000 m/km.

- Cas des valeurs tirées de la littérature. Les constantes, les masses molaires ou toutes autres valeurs tirées de la littérature suivent les règles pour déterminer les chiffres significatifs.

6.2 Règles d'écriture

6.2.1 Règles d'écriture d'une mesure et de son incertitude en laboratoire

- La mesure prise en laboratoire est accompagnée de l'incertitude de l'instrument et de l'unité. On évite de surcharger l'écriture par une mise en évidence de l'unité.

  Exemple :
  (23,0 ± 0,5) ℃ et non 23,0 ℃ ± 0,5 ℃

  On comprend par cette notation que le résultat expérimental se situe dans un intervalle de 22,5 °C à 23,5 °C. Ainsi, il serait faux de rapporter dans une discussion un résultat de 23,0 °C sans faire mention de l'incertitude.

- L'incertitude d'une mesure comprend un seul chiffre significatif.

- Le nombre de décimales sur la valeur doit être le même que celui de l'incertitude.

  Exemples :
  a) (23,0 ± 0,5) ℃ et non (23 ± 0,5) ℃
  b) (50 ± 1) cm et non (50,4 ± 1) cm
  c) (9 ± 1) x 10^{1} mL et non (88 ± 12,5) mL

- La même notation doit être utilisée pour la valeur, l'unité et l'incertitude.

  Exemples :
  a) (2,000 ± 0,001) km et non 2 km ± 1 m
  b) (50,00 ± 0,01) g et non 50 g ± 1x10^{-2} g

- L'arrondissement d'un nombre qui se termine par 5 se fait à la hausse pour ne pas sous-estimer l'incertitude. Puisqu'on ne calcule pas de moyenne sur une grande série de mesures, aucune distinction n'est effectuée pour l'arrondissement selon un nombre pair ou impair qui précède le 5.

  Exemples :
  a) On souhaite arrondir la valeur au millième pour le nombre 0,00357; ce dernier devient 0,004.
  b) On souhaite arrondir la valeur au dixième pour le nombre 1,246; ce dernier devient 1,2.

- Toutes les valeurs tirées de la littérature ont une incertitude. Lorsque l'incertitude sur une valeur tirée de la littérature n'est pas disponible, l'incertitude sur cette valeur est minimalement estimée à ± 1 sur le dernier chiffre significatif.

6.3 Incertitudes sur les instruments

Il y a trois types d'instruments de mesure plus couramment rencontrés en laboratoire : les instruments à volume jaugé, les instruments gradués et les instruments à affichage numérique. L'incertitude pour chaque type d'instrument est déterminée de la façon suivante sur la figure 4:

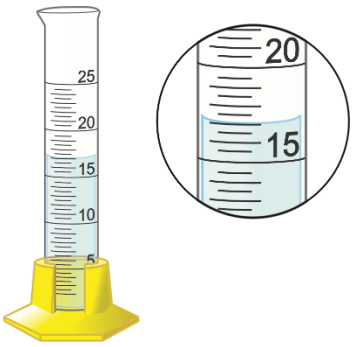
Jaugé	**Gradué**	**Affichage numérique**
		
ex. : fiole jaugée	ex. : cylindre gradué	ex. : sonde à température
L'incertitude est fournie.	L'incertitude est égale à la moitié de la plus petite division.	L'incertitude est de ± 1 sur le dernier chiffre affiché.
(100,00 ± 0,08) mL	(17,0 ± 0,3) mL	(20,65 ± 0,01) °C

FIGURE 4
Exemples des types d'instruments de mesure accompagnés de leur incertitude

Précisions :

L'incertitude pour un instrument à volume jaugé, la précision pour un instrument à affichage numérique et la graduation des instruments sont fournies dans la section *Instrumentation* des protocoles du manuel de laboratoire.

- Particularités des instruments gradués

  - Cas où une lecture se situe entre deux graduations
    Lorsqu'une mesure se situe entre deux graduations, il est possible de rapporter une lecture d'une mesure selon l'ordre de grandeur du dernier chiffre significatif de l'incertitude.

    Exemple :
    Sur la figure 5 a), le thermomètre est gradué au degré Celsius près et l'on peut y lire (22,5 ± 0,5) °C. La figure 5 b) illustre le même thermomètre, mais cette fois on peut préférer rapporter une lecture de (22,1 ± 0,5) °C. Cette dernière lecture est possible et une autre personne peut préférer rapporter une lecture tout aussi acceptable de (22,2 ± 0,5) °C. En fait, la personne a la liberté de lire une mesure selon l'ordre de grandeur de l'incertitude, soit au niveau d'une décimale pour cet exemple.

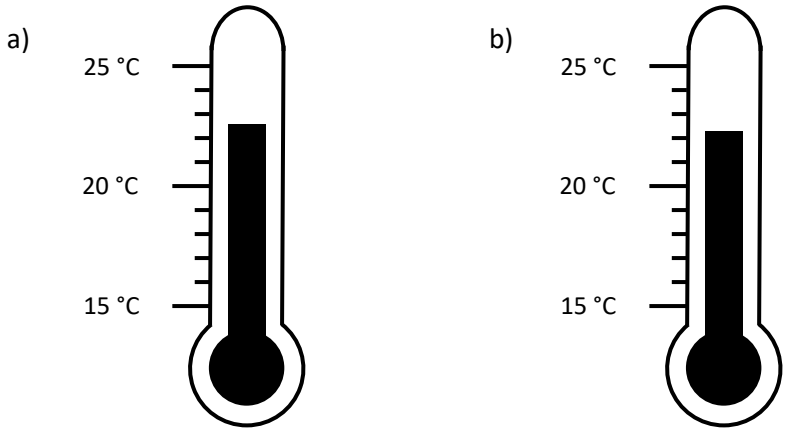


FIGURE 5
Lecture d'une mesure sur un thermomètre

  - Cas nécessitant deux lectures
    La règle ou une burette sont des exemples d'instruments qui nécessitent la prise de deux lectures pour une même mesure. L'incertitude sur la mesure est égale à la somme des

incertitudes de chaque lecture. Il est à noter que la dispensette est un instrument qui ne nécessite qu'une seule lecture.

Exemple :
Sur les figures 6 a) et 6 b), on peut voir respectivement une première et une deuxième lecture pour une même mesure. L'incertitude pour chaque lecture est égale à la moitié de la plus petite division, puis l'incertitude sur la mesure est égale à la somme des incertitudes de chaque lecture. Ainsi, pour cet exemple la mesure rapportée est (6,7 ± 0,1) cm.

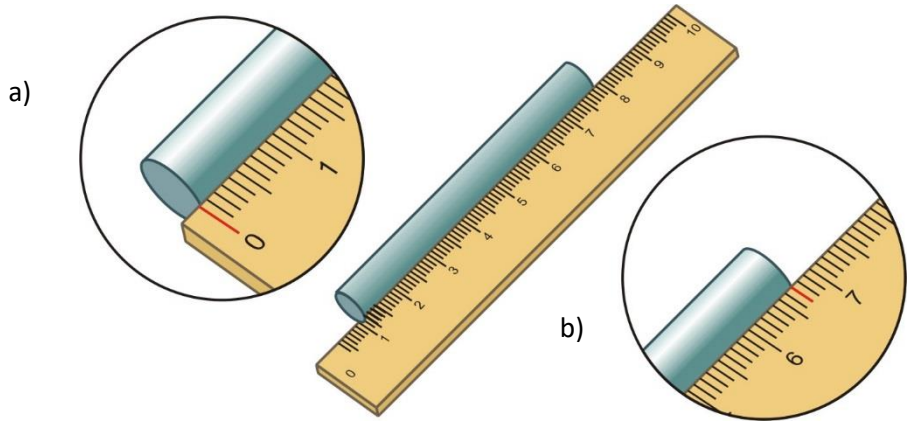


FIGURE 6
Cas de la règle illustrant deux incertitudes associées à une même mesure

- Particularité pour une mesure notée sous forme d'intervalle

Lorsqu'une plage de lectures est notée pour une mesure donnée, cette dernière doit être rapportée sous forme d'intervalle.

Exemple :
On souhaite rapporter une température d'ébullition qui fluctue entre 141 °C et 143 °C. Ainsi, on écrit ((141-143) ± 1) °C.

- Autres particularités

Il est à noter que divers facteurs peuvent contribuer à augmenter une incertitude. Par exemple, une surface irrégulière lors de la mesure d'un volume pour un liquide très visqueux, un affichage qui fluctue constamment dans la prise de mesure sur une balance électronique ou le temps de réaction qu'une personne met à démarrer ou arrêter un chronomètre. Ainsi, une incertitude peut être augmentée, mais une justification est requise sous le tableau concerné puisque les règles conventionnelles ne sont pas respectées.

6.4 Précision et exactitude

La précision et l'exactitude sont deux caractéristiques liées à la validation d'une valeur expérimentale.

- La précision d'une valeur est évaluée au moyen de l'incertitude relative, un outil qui permet de porter un jugement sur l'impact qu'a une incertitude sur une valeur donnée. Plus l'incertitude relative est petite, plus la valeur est précise.

- L'exactitude d'une valeur est évaluée par la correspondance d'une valeur avec une valeur de référence. On se pose la question : « Est-ce que la valeur attendue a été obtenue? » Le diagramme de comparaison et l'écart en pourcentage permettent de porter un jugement sur l'exactitude.

  Exemple :
  Un même échantillon de 5 g est pesé à trois reprises sur une même balance. La figure 7 a) illustre un cas où les pesées sont précises et exactes, c'est-à-dire qu'on obtient à chaque répétition la masse attendue. La figure 7 b) illustre une situation où les pesées sont précises, mais inexactes, c'est-à-dire qu'on obtient la même masse à chaque reprise, mais la masse obtenue est différente de 5 g. La figure 7 c) illustre une situation où les masses sont imprécises, mais relativement exactes, c'est-à-dire qu'on obtient une masse différente à chaque reprise, mais la masse obtenue est relativement près de 5 g.

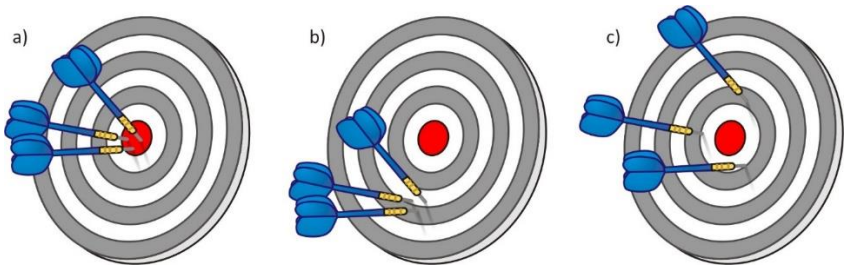


FIGURE 7
Illustration de la précision et de l'incertitude

Les notions d'incertitude relative et d'écart en pourcentage sont présentées dans les **SECTIONS 8.4** et **8.5**.

7. Tableaux

Les tableaux permettent de présenter les observations qualitatives, les mesures ou les résultats de calculs d'une expérimentation. Ceux-ci doivent être construits judicieusement afin de présenter l'intégralité des informations, tout en demeurant concis et clairs. Ainsi, il existe deux grands types de tableaux : le tableau de données uniques et le tableau de série de données.

7.1 Normes de présentation d'un tableau

7.1.1 Numéro et titre de tableau

- Les tableaux doivent être numérotés selon leur ordre d'apparition dans le rapport. Le terme **TABLEAU** centré en majuscule et en gras précède le numéro et se retrouve au-dessus du titre du tableau. Ce dernier est également centré et en gras.
- Le numéro ainsi que le titre doivent être placés au-dessus du tableau.
- Le titre du tableau doit être rédigé avec précision et concision afin de permettre au lecteur de bien comprendre l'expérimentation ainsi que la nature des résultats présentés. Toutefois, si le titre implique une énumération de trois éléments et plus, la clarté du titre est conservée en utilisant un terme général qui permet de les regrouper. Par exemple, on n'énumère pas toutes les substances chimiques dans un titre. On choisit plutôt un sujet général tel que « divers ions alcalins ».
- Afin de s'assurer que tous les titres de tableau d'un rapport demeurent compréhensibles, ils doivent être indépendants les uns des autres. Ainsi, dans un rapport comportant plusieurs tableaux, tous les éléments du titre sont répétés autant de fois qu'il y a de tableaux.

Précisions sur le contenu des titres (pour les consignes de présentation voir la page précédente) :

Le titre doit contenir les éléments suivants :

1) Nature des résultats : Qu'est-ce qui est directement observé ou mesuré et présenté dans le tableau?
2) Conditions expérimentales : Quels sont les paramètres qui varient dans l'expérience (variables) et la technique expérimentale utilisée?
3) Objet à l'étude : Quel est le sujet de l'expérience? Qu'est-ce que l'on veut étudier?

Exemple :

Concentrations de glucose et de protéines dans des extraits animal et végétal
(Objet à l'étude) **(Conditions expérimentales)**
déterminées à partir de la coloration sur Labstix
(Nature des résultats)

En chimie et en physique, un titre complet doit inclure les éléments suivants :

- Sujet (objet à l'étude)
- Deux items pertinents au tableau parmi les suivants :
  - Technique expérimentale
  - Utilité des données du tableau
  - Nom des paramètres (masses, températures, le terme paramètres ou données est utilisé s'il y a plus de deux paramètres mesurés, etc.)
  - Nature du tableau (observations, mesures, résultats de calculs, etc.)

Il est à noter que des produits commerciaux sont parfois utilisés et que le nom complet (incluant souvent la variété et la marque) de ces produits doit faire partie du sujet. Cette information doit être prise en note sur les contenants disponibles au laboratoire. Par exemple, si le sujet à analyser est le café, il faut plutôt écrire « café moulu colombien 100 % arabica de marque Irrésistibles ».

On travaille régulièrement avec des échantillons inconnus numérotés ou un carton numéroté au laboratoire. Ces numéros peuvent être indiqués dans le titre, à l'intérieur d'un tableau ou sous un tableau selon l'endroit le plus approprié pour l'expérience.

Exemples en chimie:

a) Masses nécessaires au calcul du pourcentage massique en caféine dans un café
(Nom des paramètres) **(Utilité des données du tableau)**
filtre préparé à partir du café colombien 100 % arabica de marque Irrésistibles
(Sujet)

b) Paramètres nécessaires au calcul de la masse en sodium dans l'échantillon
(Nom des paramètres) **(Utilité des données du tableau)**
inconnu no B-22
(Sujet)

c) Résultats des calculs de concentrations molaires volumiques de différents acides forts
(Nature du tableau) (Nom des paramètres) (Sujet)

Exemples en physique:

a) Paramètres nécessaires au calcul de l'accélération gravitationnelle d'un chariot selon l'inclinaison d'une voie d'air
(Nom des paramètres) (Utilité des données du tableau) (Sujet)

b) Angles de déviation des différentes longueurs d'onde du mercure au premier ordre afin de déterminer le pas du réseau
(Nom des paramètres) (Sujet) (Utilité des données du tableau)

c) Résultats des calculs de coefficients de frottement cinétique entre différentes surfaces et un plan de MDF incliné à 25°
(Nature du tableau) (nom des paramètres) (Sujet)

7.1.2 Encadré

- Les informations présentées dans le tableau doivent être séparées par des traits verticaux et horizontaux.

- Il est préférable de présenter un tableau sur une seule page. Ainsi, on débute un tableau sur une nouvelle page, en laissant une partie de la page précédente vide, si cela permet d'éviter de le scinder.

7.1.3 Valeurs sous le tableau

Les valeurs sous le tableau comprennent toutes les données susceptibles d'influencer les résultats ainsi que celles nécessaires à leur analyse et/ou aux calculs subséquents.

- Les valeurs sont présentées sous le premier tableau auquel se rapporte l'information. Les valeurs n'ont pas à être répétées dans les tableaux subséquents.

- Les éléments suivants doivent se retrouver le cas échéant en valeurs sous le tableau :
  - Le numéro d'inconnu, du carton ou du montage (sauf s'il est déjà présent dans le titre ou dans le tableau).
  - Le numéro des instruments qui ont servi à prendre des mesures.
  - Les facteurs qui peuvent influencer les mesures.
  - Les données expérimentales qui évitent de fragmenter une série de données
  - Les valeurs tirées de la littérature comme la masse molaire ou l'accélération gravitationnelle terrestre.
  - Justification des incertitudes lorsque les règles conventionnelles sur les incertitudes ne sont pas respectées.

Précisions pour les valeurs sous le tableau :

Pour certaines expériences, il est parfois souhaitable d'utiliser des symboles afin d'éviter d'alourdir un tableau. Dans un tel cas toutefois, chaque symbole doit être clairement défini sous forme de légende sous le tableau afin que le lecteur soit bien en mesure de comprendre toutes les subtilités de l'expérimentation.

Lorsque les mêmes symboles sont réutilisés dans plusieurs tableaux, la légende pour chaque symbole est présentée uniquement sous le premier tableau où on les retrouve dans le rapport.

Par exemple, si l'on étudie l'évolution d'une variable par la prise d'une ou de plusieurs mesures à différents temps au cours de l'expérimentation, on pourrait choisir de représenter les différents temps de prise de données par les symboles T_0, T_1, T_2 … Ceux-ci devraient par la suite être définis à l'aide d'une légende sous le tableau.

Les facteurs qui peuvent influencer les mesures de façon prédominante sont mentionnés dans les encadrés présents au début de certaines techniques du *Cahier de techniques.* Chacune de ces valeurs doit être présentée avec ses unités et son incertitude.

Les facteurs qui peuvent influencer les mesures ne sont pas exigés en physique.

7.2 Tableau de données uniques

Comme leur nom l'indique, les tableaux de données uniques présentent plusieurs paramètres différents avec une seule donnée pour chacun. Pour plus de clarté, les tableaux de données uniques sont organisés en lignes.

- On présente dans l'ordre le paramètre, le symbole au besoin, la mesure ainsi que son incertitude et finalement l'unité de mesure.
- Les paramètres et les symboles doivent être en caractère gras.

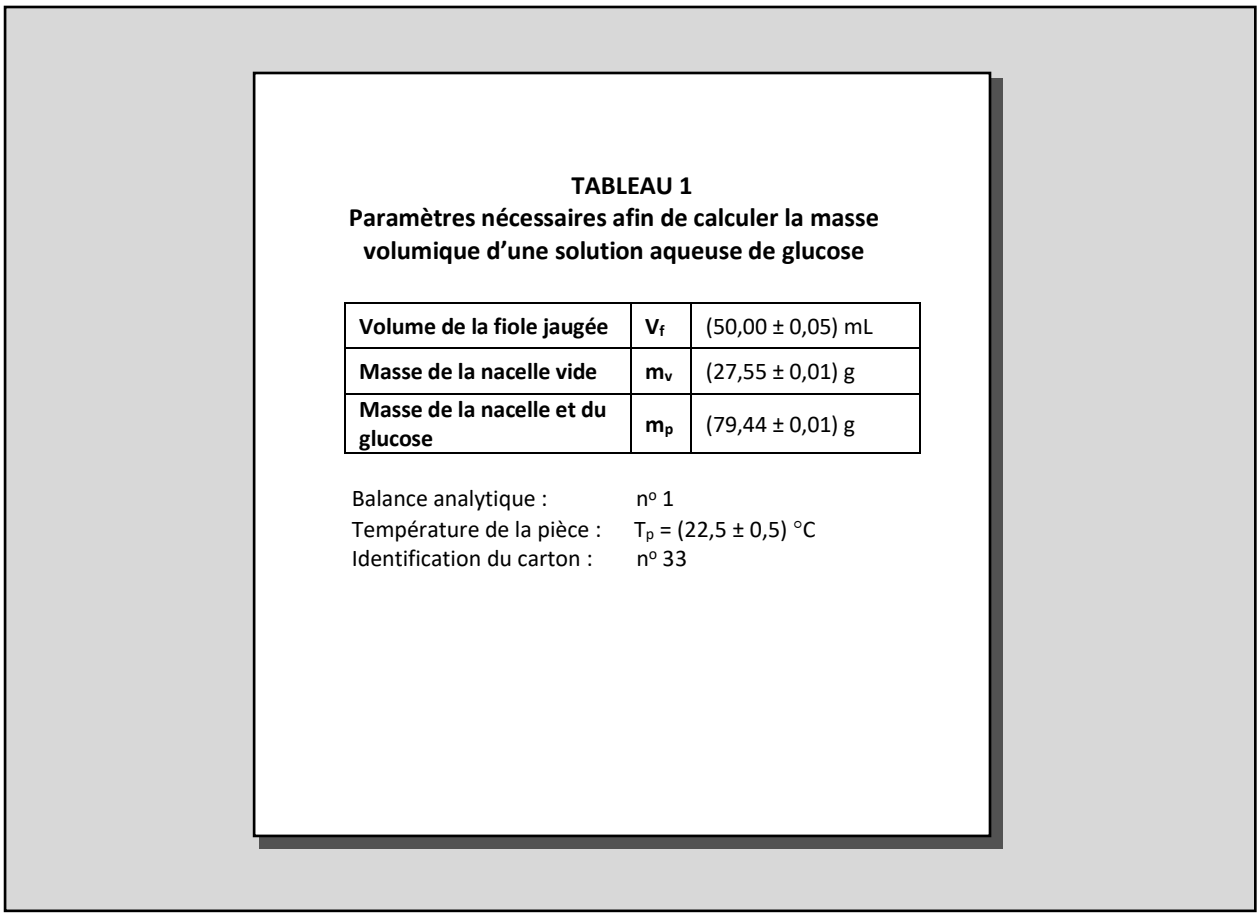


TABLEAU 1
Paramètres nécessaires afin de calculer la masse volumique d'une solution aqueuse de glucose

Volume de la fiole jaugée	**V_f**	(50,00 ± 0,05) mL
Masse de la nacelle vide	**m_v**	(27,55 ± 0,01) g
Masse de la nacelle et du glucose	**m_p**	(79,44 ± 0,01) g

Balance analytique : n° 1
Température de la pièce : T_p = (22,5 ± 0,5) °C
Identification du carton : n° 33

FIGURE 8
Présentation attendue dans un rapport pour un tableau de données uniques

7.3 Tableau de série de données

Les tableaux de série permettent de présenter les résultats d'une série de données ou de plusieurs essais. Lorsque le nombre d'essais est supérieur au nombre de paramètres, ces derniers sont présentés à la verticale et les essais sont présentés à l'horizontale. Dans le cas contraire, ce sont plutôt les essais qui sont présentés à la verticale.

- L'entête présente dans l'ordre le nom des paramètres (variables) mesurés, leur symbole au besoin, leur unité de mesure ainsi que leur incertitude lorsque cette dernière est connue et commune à toutes les données.
- Les informations présentées dans l'entête doivent être en caractère gras.
- Afin d'alléger la présentation d'un tableau, on fusionne les cases qui se répètent 3 fois ou plus dans l'entête. Toutefois, la fusion est possible uniquement s'il s'agit des mêmes paramètres et des mêmes instruments de mesure.
- Dans le cas d'incertitudes variables, celles-ci sont présentées à droite de chacune des données.
- Lorsque le tableau se poursuit sur plus d'une page, il faut répéter sur la deuxième page le numéro du tableau et son titre, qu'on fait suivre du mot « suite » entre parenthèses, ainsi que l'entête.

TABLEAU 1
Temps d'une oscillation d'un pendule simple pour différentes longueurs de corde afin de déterminer l'accélération gravitationnelle

Longueur de la corde	Temps d'une oscillation
L	**T**
cm	**s**
± 0,2	**± 0,08**
10,0	0,61
20,0	0,88
30,0	1,12
40,0	1,30
50,0	1,39
60,0	1,58

FIGURE 9
Présentation attendue dans un rapport pour un tableau de série

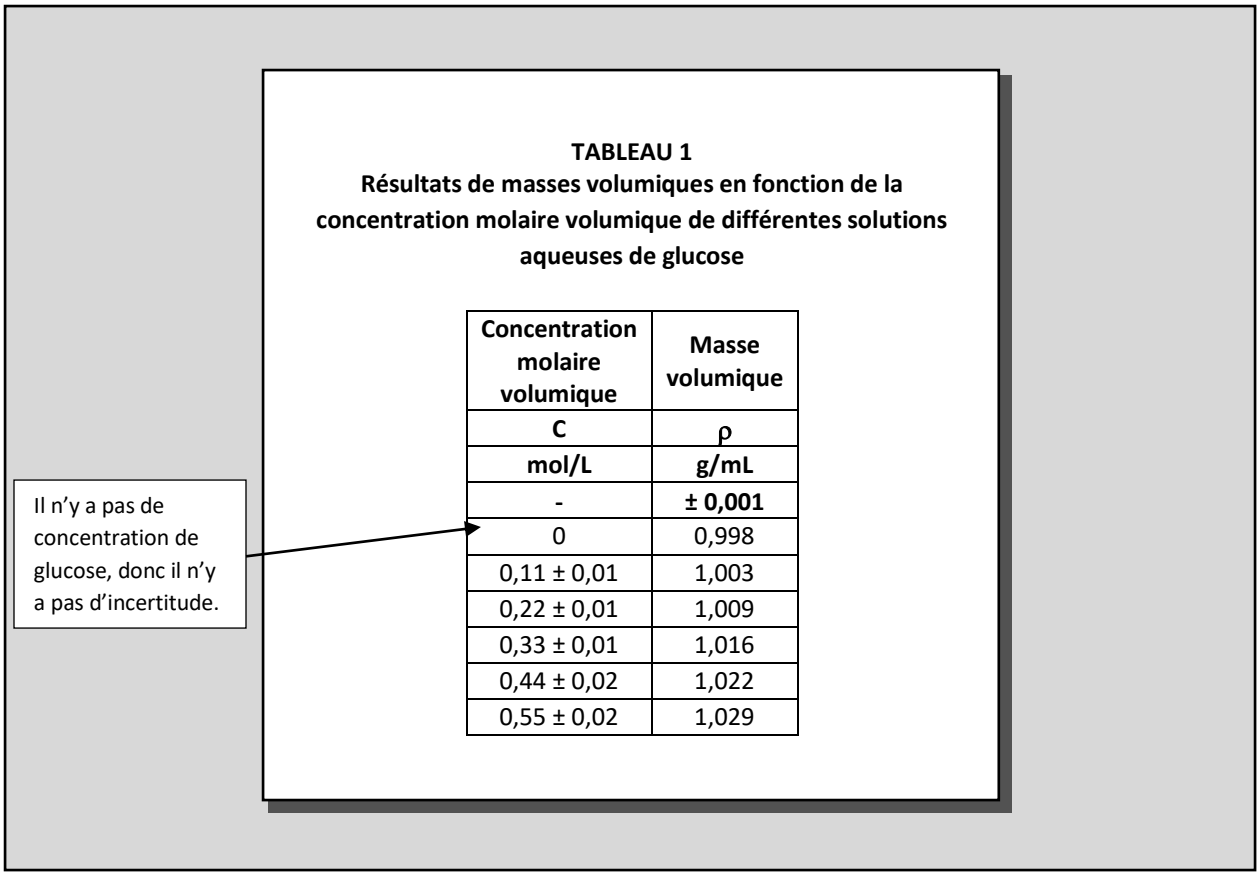


FIGURE 10
Présentation attendue dans un rapport pour un tableau de série à la verticale dans le cas où l'incertitude varie dans la première série

TABLEAU 1
Indices de réfraction de différentes substances afin de valider leur nature

Substance	**Indice de réfraction**
-	$\boldsymbol{n_D^{20}}$
-	**-**
-	**± 0,0001**
Acétone	1,3589
Chloroforme	1,3614
Éthanol	1,3595
Hexane	1,3751
Isopropanol	1,3776

Température mesurée
au réfractomètre : T_p = (20,0 ± 0,1) °C

FIGURE 11
Présentation attendue dans un rapport pour un tableau de série à la verticale dans le cas où l'incertitude varie dans la première série

TABLEAU 1
Concentration de glucose de différentes solutions à base d'extraits alimentaires déterminée d'après la coloration obtenue sur Labstix

Nature de l'extrait	Couleur	Concentration
	-	mmol/L
Ketchup	Brun	55
Sirop d'érable	Kaki	28
Pain blanc	Kaki	28
Lait	Turquoise	0
Carotte cuite	Vert pomme	14

FIGURE 12
Présentation attendue dans un rapport d'un tableau de série à la verticale sans symbole ni incertitude

TABLEAU 1
Fréquence cardiaque de trois candidats humains avant et à différents moments après la consommation de 473 ml de bière à 5% d'alcool, mesurée à l'aide d'un oxymètre

Candidats	Fc		
	T_0	T_{15}	T_{30}
	bpm		
	± 1		
1	70	70	78
2	58	60	62
3	82	86	92

Fc : Fréquence cardiaque
T_0 : Au repos, avant la consommation de 473 ml de bière à 5% d'alcool.
T_{15}: 15 minutes après la consommation de 473 ml de bière à 5% d'alcool.
T_{30}: 30 minutes après la consommation de 473 ml de bière à 5% d'alcool.

FIGURE 13
Présentation attendue dans un rapport d'un tableau de série à la verticale

TABLEAU 1
Mesures de certaines propriétés physiques de l'acétone afin de confirmer l'identité de cette substance organique.

				Essais		
				1	2	3
Masse volumique mesurée au densimètre	ρ	**g/mL**	**± 0,0001**	0,7841	0,7844	0,7839
Indice de réfraction mesuré au réfractomètre	n_D	**-**	**± 0,0001**	1,3586	1,3587	1,3588
Température mesurée au réfractomètre	T_D	**°C**	**± 0,1**	18,6	18,5	18,7
Température d'ébullition	$T_{éb}$	**°C**	**± 1**	[56-57]	57	[55-56]

Numéro du thermomètre : n° 1
Numéro du réfractomètre : n° 2
Numéro du densimètre : n° 1
Température de la pièce: T_p = (22,5 ± 0,5) °C
Pression atmosphérique : P = (102 ,50 ± 0,05) kPa

FIGURE 14
Présentation attendue dans un rapport pour un tableau de série à l'horizontale

8. Calculs

Lors d'une expérimentation, les mesures prises à l'aide d'instruments (masse, volume, température, etc.) contiennent des incertitudes. Avec ces mesures, on doit souvent calculer une quantité par exemple, la masse volumique qui est le rapport entre la masse et le volume. On verra comment procéder afin de connaître l'incertitude d'un résultat à partir des mesures.

8.1 Normes de présentation des calculs

- Les calculs doivent être numérotés selon leur ordre d'apparition dans le rapport. Le terme **CALCUL** centré, en majuscule et en gras précède le numéro et se retrouve au-dessus du titre du calcul. Ce dernier est également centré et en gras.
- Le numéro ainsi que le titre doivent être placés au-dessus du calcul.
- Un titre minimal incluant le paramètre calculé (masse volumique, la vitesse…) et le sujet du calcul.
- Toutes les valeurs utilisées dans les calculs doivent avoir été préalablement présentées dans une des parties d'un tableau.
- Dans le cas où plusieurs calculs identiques sont demandés, on ne donne qu'un seul exemple détaillé du calcul. Tous les résultats de calculs sont ensuite rapportés dans un tableau.
- Lorsqu'on effectue des calculs, il faut toujours définir les symboles qui ne l'ont pas été dans les sections précédentes. Les symboles à définir sont présentés immédiatement après la formule générale.
- Sauf exception, la formule générale précède les valeurs numériques du calcul.

8.2 Calcul sans considération de l'incertitude

8.2.1 Règles pour déterminer le nombre de chiffres significatifs dans les calculs sans considération de l'incertitude.

- Cas de la multiplication et de la division. On repère la valeur ayant le plus petit nombre de chiffres significatifs parmi les valeurs utilisées pour le calcul, et on exprime le résultat avec le même nombre de chiffres significatifs que cette valeur.

  Exemple :
  0,12 m x 40,54 m = 4,9 m^2

- Cas de l'addition et de la soustraction. On repère la valeur ayant le plus petit nombre de décimales parmi les valeurs utilisées pour le calcul, et on exprime le résultat avec le même nombre de décimales que cette valeur.

Exemples :

a) (10,50 + 5,2 - 0,10) m = 15,6 m

b) Une température initiale (T_i) de 22,2 °C et une température finale (T_f) de 27,4 °C sont mesurées dans le but de calculer une variation de température pour des solutions aqueuses de $CaCl_2$ (ΔT_{CaCl_2}) :

CALCUL 1
Variation de température de solutions aqueuses de $CaCl_2$

$$\Delta T_{CaCl_2} = T_f - T_i$$

Où

ΔT_{CaCl_2}: Variation de température pour des solutions aqueuses de $CaCl_2$

$$\Delta T_{CaCl_2} = (27{,}4 - 22{,}2)\ °C = 5{,}2\ °C$$

FIGURE 15
Présentation attendue dans un rapport d'un calcul sans incertitude

8.3 Calcul de l'incertitude par la méthode des extrêmes

Étapes pour effectuer un calcul d'incertitude par la méthode des extrêmes

1) Écrire la formule générale.
2) Calculer la valeur maximale de la formule générale.
3) Calculer la valeur minimale de la formule générale.
4) Calculer la valeur moyenne selon $\frac{valeur\ max + valeur\ min}{2}$
5) Calculer l'incertitude selon $\frac{valeur\ max - valeur\ min}{2}$
6) Exprimer la valeur finale ajustée en respectant les deux règles suivantes :
   - On arrondit l'incertitude à un seul chiffre significatif.
   - On arrondit la valeur moyenne à la même précision que l'incertitude. Dans les faits, le nombre de décimales doit être le même pour la valeur moyenne et l'incertitude.

- Dans les réponses intermédiaires des étapes 2 à 5, il faut conserver au moins une décimale de plus que le nombre de décimales permis dans la réponse finale ajustée.
- Les unités doivent apparaître dans les calculs, dans les réponses intermédiaires et dans la réponse finale.
- Remarque : utiliser le module d'équation dans Word pour insérer les équations pour les rapports de type sans gabarit.

Exemples :

a) Calcul d'incertitude pour une masse volumique d'une solution aqueuse de glucose selon les données présentées à la **FIGURE 8***.*

La démarche suivante présente les étapes détaillées du calcul d'incertitude afin de faciliter la compréhension. La présentation attendue dans un rapport est plus épurée et un exemple est présenté ci-après.

- *La formule générale est :*

$$\rho = \frac{m_p - m_v}{V_f}$$

Alors,

- *La valeur maximale de la masse volumique est :*

$$\rho_{max} = \frac{(m_p)_{max} - (m_v)_{min}}{(V_f)_{min}} = \frac{(79{,}45 - 27{,}54)\ g}{49{,}95\ mL} = 1{,}0392\ g/mL$$

- *La valeur minimale de la masse volumique est :*

$$\rho_{min} = \frac{(m_p)_{min} - (m_v)_{max}}{(V_f)_{max}} = \frac{(79{,}43 - 27{,}56)\ g}{50{,}05\ mL} = 1{,}0364\ g/mL$$

- *La valeur moyenne de la masse volumique est :*

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_{max} + \rho_{min}}{2} = \frac{(1{,}0392 + 1{,}0364)\ g/mL}{2} = 1{,}0378\ g/mL$$

- *L'incertitude de la masse volumique est :*

$$\Delta\rho = \frac{\rho_{max} - \rho_{min}}{2} = \frac{(1{,}0392 - 1{,}0364)\ g/mL}{2} = 0{,}0014\ \ g/mL$$

- *La valeur finale de la masse volumique est :*

$$\rho = \bar{\rho} \pm \Delta\rho = (1{,}038 \pm 0{,}001)\ g/mL$$

CALCUL 1
Masse volumique
d'une solution aqueuse de glucose

$$\rho = \frac{m_p - m_v}{V_f}$$

Où

ρ : masse volumique

$$\rho_{max} = \frac{(79{,}45 - 27{,}54)\ g}{49{,}95\ mL} = 1{,}0392\ g/mL$$

$$\rho_{min} = \frac{(79{,}43 - 27{,}56)\ g}{50{,}05\ mL} = 1{,}0364\ g/mL$$

$$\bar{\rho} = \frac{(1{,}0392 + 1{,}0363)\ g/mL}{2} = 1{,}0378\ g/mL$$

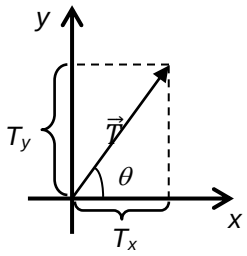
$$\Delta\rho = \frac{(1{,}0392 - 1{,}0364)\ g/mL}{2} = 0{,}0014\ \ g/mL$$

$$\rho = (1{,}038 \pm 0{,}001)\ g/mL$$

FIGURE 16
Présentation attendue dans un rapport d'un calcul d'incertitude d'une masse volumique

b) Calcul d'incertitude pour une fonction trigonométrique.

Soit une tension dans une corde $\vec{T}$ ayant une grandeur de $(15 \pm 2)\ N$ et orienté à un angle $\theta = (55 \pm 1)°$ au-dessus de l'axe des x positifs. Si l'on souhaite calculer la valeur de la composante horizontale de la tension T_x, on doit utiliser le rapport trigonométrique suivant :



$$cos\,\theta = \frac{adjacent}{hypoténuse} = \frac{T_x}{T} \rightarrow T_x = T\,cos\,\theta$$

ATTENTION! Étant donné que la fonction « cos » est décroissante entre 0° et 90°, la plus grande valeur du cos survient lorsque l'angle est le plus petit et vice-

CALCUL 1
Composante en *x* d'une force dans une corde

$$T_x = T\cos\theta$$

$$(T_x)_{max} = 17N \times \cos 54° = 9{,}9923\ N$$

$$(T_x)_{min} = 13N \times \cos 56° = 7{,}2695\ N$$

$$\overline{T_x} = \frac{(9{,}9923 + 7{,}2695)\ N}{2} = 8{,}6309\ N$$

$$\Delta T_x = \frac{(9{,}9923 - 7{,}2695)\ N}{2} = 1{,}3614\ N$$

$$F_x = (9 \pm 1)\ N$$

FIGURE 17
Présentation attendue dans un rapport d'un calcul d'incertitude de fonctions trigonométriques

c) Calcul d'incertitude pour une moyenne de trois essais de la masse volumique de l'acétone selon les données présentées à la **FIGURE 14**.

Remarque :

- Il n'y a pas de formule générale à inscrire lors du calcul d'incertitude pour une moyenne.

CALCUL 1
Moyenne de trois essais de la masse volumique de l'acétone

$$\rho_{max} = 0{,}7845\ g/mL$$

$$\rho_{min} = 0{,}7838\ g/mL$$

$$\bar{\rho} = \frac{(0{,}7845 + 0{,}7838)\ g/mL}{2} = 0{,}78415\ g/mL$$

$$\Delta\rho = \frac{(0{,}7845 - 0{,}7838)\ \%}{2} = 0{,}00035\ g/mL$$

$$\rho\ = (0{,}7842 \pm 0{,}0004)\ g/mL$$

FIGURE 18
Présentation attendue dans un rapport d'un calcul d'incertitude d'une moyenne de deux essais

8.4 Calcul de l'incertitude relative

L'incertitude relative permet de déterminer le niveau de précision d'une valeur. On l'obtient en divisant la valeur absolue de l'incertitude (|Δ|) par la valeur, puis en multipliant par 100 pour exprimer l'incertitude relative en pourcentage. On rapporte l'incertitude relative avec deux chiffres significatifs.

Exemple :

$$Incertitude\ relative\ de\ la\ température\ (T_1) = \frac{|\Delta T_1|}{T_1} \times 100\ = \frac{0{,}5\ ℃}{10{,}0\ ℃} \times 100\ = 5{,}0\ \%$$

$$Incertitude\ relative\ de\ la\ température\ (T_2) = \frac{|\Delta T_2|}{T_2} \times 100\ = \frac{0{,}5\ ℃}{50{,}0\ ℃} \times 100\ = 1{,}0\ \%$$

Cet exemple illustre deux températures dont les incertitudes sont les mêmes, mais on obtient une mesure moins précise pour T_1 puisque l'incertitude relative de T_1 est plus grande que celle de T_2.

L'incertitude relative est utile pour justifier, dans la section discussion, les causes d'incertitude.

8.5 Calcul de l'écart en pourcentage

L'écart en pourcentage permet de quantifier le niveau d'exactitude d'une mesure. En d'autres mots, on peut vérifier à quel point une valeur expérimentale se rapproche d'une valeur de référence. Pour le déterminer, on calcule le plus petit écart en valeur absolue entre la valeur expérimentale et la valeur de référence, on divise par la valeur de référence, puis on multiplie par 100 pour exprimer l'écart en pourcentage. On rapporte l'écart en pourcentage avec deux chiffres significatifs.

Exemple :

On mesure expérimentalement l'accélération gravitationnelle de $g_{exp} = (9{,}7 \pm 0{,}2)\ m/s^2$ *à l'aide d'une voie d'air.*

La valeur de référence de l'accélération gravitationnelle est $g_{théo} = (9{,}8 \pm 0{,}1)\ m/s^2$.

CALCUL 1
Écart en pourcentage de l'accélération gravitationnelle

$$\text{Écart en poucentage } (\%) = \frac{|g_{exp}\ maximale - g_{théo}\ minimal|}{|g_{théo}|} \times 100$$

$$\text{Écart en pourcentage } (\%) = \frac{|(9{,}9 - 9{,}7)\ m/s^2|}{|9{,}8\ m/s^2|} \times 100\ = 2{,}0\ \%$$

FIGURE 19
Présentation attendue dans un rapport d'un calcul de l'écart en pourcentage

9. Figures

Les figures comprennent les graphiques, les dessins, les cartes, les photographies, les schémas, les spectres infrarouges, les chromatogrammes, les diagrammes de comparaison, etc.

9.1 Normes de présentation d'une figure

- Les figures doivent être numérotées selon leur ordre d'apparition dans le rapport. Le terme **FIGURE** centré en majuscule et en gras précède le numéro et se retrouve au-dessus du titre de la figure. Ce dernier est également centré et en gras.
- Contrairement aux tableaux, le numéro ainsi que le titre doivent être insérés sous la figure.
- Le titre de la figure doit être rédigé avec précision et concision afin de permettre au lecteur de bien comprendre la nature des résultats présentés.
- Afin de s'assurer que tous les titres de figure d'un rapport demeurent compréhensibles, ils doivent être indépendants les uns des autres. Ainsi, dans un rapport comportant plusieurs figures, tous les éléments du titre sont répétés autant de fois qu'il y a de figures.
- La taille de la figure doit être suffisamment importante pour permettre une lecture claire de l'information.
- Lorsqu'une légende est nécessaire à la compréhension des résultats présentés celle-ci doit se retrouver à droite de la figure, à l'exception des diagrammes de comparaison où elle se trouve à gauche.

Précisions et exemples pour les titres :

Le titre pour un dessin d'observation doit contenir les éléments suivants :

1) Nature des résultats
2) Nom de ce que vous observez en précisant son origine (Sujet)
3) Coloration utilisée (si disponible)
4) État de la préparation (préparation fraîche ou préparation commerciale, avec le nom du fabricant si disponible)

Exemple de titre de dessin d'observation *:*

a) Observation microscopique d'une bulle d'air dans une préparation
(Nature des résultats) **(Sujet)** **(État de la préparation)**
fraîche d'eau teintée au bleu de méthylène
(Coloration utilisée)

b) Observation microscopique des différents éléments figurés provenant
(Nature des résultats) **(Sujet)**
d'un frottis sanguin humain dans une préparation commerciale
(État de la préparation)
(Carolina)

Pour tous les autres types de figure (photographie, graphique…), le titre complet doit inclure les mêmes éléments que celui d'un titre de tableau, soit :

1) Nature des résultats : Qu'est-ce qui est directement observé ou mesuré et présenté dans la figure?
2) Conditions expérimentales : Quels sont les paramètres qui varient dans l'expérience (variables) et la technique expérimentale utilisée?
3) Objet à l'étude : Quel est le sujet de l'expérience? Qu'est-ce que l'on veut étudier?

Exemple de titre de graphique :

Fréquence cardiaque des candidats en fonction du temps suite à l'ingestion
(Nature des résultats/objet à l'étude) **(Conditions expérimentales)**
de bière à 5% d'alcool, mesurée à l'aide d'un électrocardiogramme

En chimie et en physique, le titre complet d'une figure doit inclure les éléments suivants :

- Sujet (objet à l'étude)
- Deux items pertinents à la figure parmi les suivants :
    - Type de figure lorsque spécifié dans le protocole du manuel de laboratoire (obligatoire le cas échéant). Par exemple, courbe de calibration ou d'étalonnage, courbe de titrage, spectre infrarouge, chromatogramme, etc.
    - Technique expérimentale
    - Utilité de la figure
    - Nom des axes

Exemples en chimie :

a) Chromatogramme de différents alcaloïdes obtenu par chromatographie
(Type de figure) **(Sujet)** **(Technique expérimentale)**
sur couche mince

b) Courbe de titrage potentiométrique d'une solution aqueuse d'un acide fort
(Type de figure et technique expérimentale) **(Sujet)**
HCl par une solution aqueuse d'une base forte NaOH

Exemples en physique :

a) Vitesse en fonction du temps d'un bloc de bois glissant sur un plan incliné
(Nom des axes) **(Sujet)**
en MDF à 25° afin d'en déduire l'accélération du bloc
(Utilité de la figure)

b) Diagramme de comparaison entre l'accélération gravitationnelle
(Type de figure) **(Nom des axes)**
théorique et celles mesurées expérimentalement à partir d'un chariot
(Sujet)
selon l'inclinaison d'une voie d'air

9.2 Graphique en nuage de points

9.2.1 Règles de conception d'un graphique en nuages de points

Tutoriel Excel :
Conception d'un graphique en nuages de points avec insertion d'une courbe de tendance (à venir).

- Chaque axe est identifié par le nom du paramètre ou son symbole avec l'unité entre parenthèses. L'utilisation du symbole nécessite que ce dernier ait été préalablement défini dans le rapport.
- L'axe possède des graduations principales et secondaires. Les nombres sont indiqués pour les graduations principales sous l'axe. Le quadrillage majeur principal est ajouté.
- Les graduations principales et secondaires des axes sont des multiples décimaux de 1, 2 ou 5.
- L'intervalle entre deux graduations principales ainsi que le nombre de graduations secondaires sont judicieusement choisis pour optimiser la précision et la clarté.
- Les graduations doivent être choisies de sorte que les points occupent le maximum de l'espace disponible. Dans bien des cas, on n'a pas à débuter une graduation par le point 0. Par exemple, une graduation peut débuter par le nombre 15 si ce nombre permet d'optimiser l'espace disponible.
- Lorsqu'il y a une incertitude sur les données, les points sont toujours accompagnés de barres d'erreur avec empattement afin de représenter les incertitudes. La taille des points ne doit pas cacher les barres d'erreur.
- Pour une courbe de tendance, les points ne doivent pas être reliés entre eux par un trait continu. Au besoin, l'équation de la courbe est ajoutée sur le graphique.
- S'il y a plusieurs séries de données sur la même figure, on les distingue au moyen d'une légende.

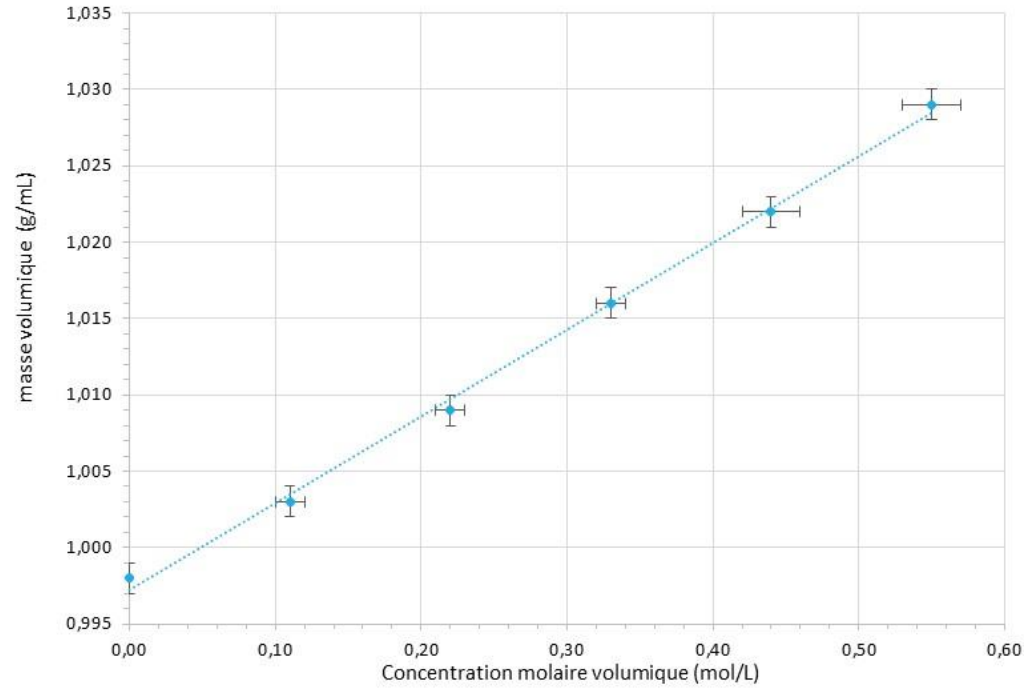


FIGURE 1
Droite de calibration de solutions aqueuses de glucose permettant de déterminer la concentration molaire volumique de l'inconnu C-8

FIGURE 20
Présentation attendue dans un rapport d'un graphique en nuages de points avec barres d'erreur et courbe de tendance

9.2.2 Incertitude sur la courbe de tendance par la fonction DROITEREG de *Microsoft Excel*

Lorsque les valeurs possèdent la même incertitude, la fonction « DROITEREG » du logiciel *Excel* calcule une droite le plus près des données par la méthode statistique des moindres carrés qu'on nomme courbe de tendance. Par la suite, il est possible d'extraire la meilleure estimation ainsi que l'incertitude sur la courbe de tendance ainsi que sur l'ordonnée à l'origine.

Tutoriel Excel :
Détermination de l'incertitude sur la courbe de tendance par la fonction DROITEREG (à venir).

9.2.3 Interpolation à partir d'une courbe de tendance

Interpoler signifie qu'on peut trouver une valeur inconnue à partir d'une valeur connue dans la zone délimitée par les données sur la courbe de tendance. Pour y arriver, on isole le paramètre recherché dans l'équation de la courbe de tendance.

9.3 Diagramme de comparaison

Les diagrammes de comparaison consistent en une représentation schématique dans le but de comparer des valeurs entre elles. Ils permettent de constater visuellement si des valeurs sont égales ou non. Il s'agit d'un moyen pour porter un jugement sur l'exactitude d'une valeur expérimentale.

9.3.1 Règles de conception des diagrammes de comparaison

Tutoriel Excel :
Conception de diagramme de comparaison (à venir).

- Le nom du paramètre ou le symbole avec l'unité entre parenthèses apparaissent à droite et sous l'axe.
- L'axe possède des graduations principales et secondaires. Des marques sont ajoutées sur l'axe pour les graduations principales et secondaires.
- La progression de la droite est indiquée par des nombres uniquement sous les graduations principales.
- Le nombre de graduations ne doit pas nuire à la lecture.
- Les graduations principales et secondaires des axes sont des multiples décimaux de 1, 2 ou 5.
- On trace un segment de droite avec empattement pour chaque résultat incluant son incertitude.
- Le nom du paramètre ou son symbole, accompagné du résultat, de l'incertitude et de l'unité de mesure sont alignés à gauche de chaque segment.
- Un titre est ajouté sous la figure selon les normes décrites au début de la section.

9.3.2 Résultats égaux

Lorsque des résultats ont une plage de valeurs communes ou seulement un point commun, on dit qu'ils sont égaux ou encore exacts.

Exemple :
Soit la hauteur d'une fusée (h) calculée théoriquement et mesurée expérimentalement. La valeur théorique est de (83 ± 6) m et la valeur expérimentale est de (72 ± 9) m.

En considérant les valeurs précédentes, la différence entre la valeur maximale (89 m) et la valeur minimale (63 m) est de 26 m. Afin d'optimiser la représentation des valeurs, on opte pour des graduations de 2 m, avec une droite graduée de 60 m à 90 m. On remarque que la plage des valeurs communes s'étend de 77 m à 81 m.

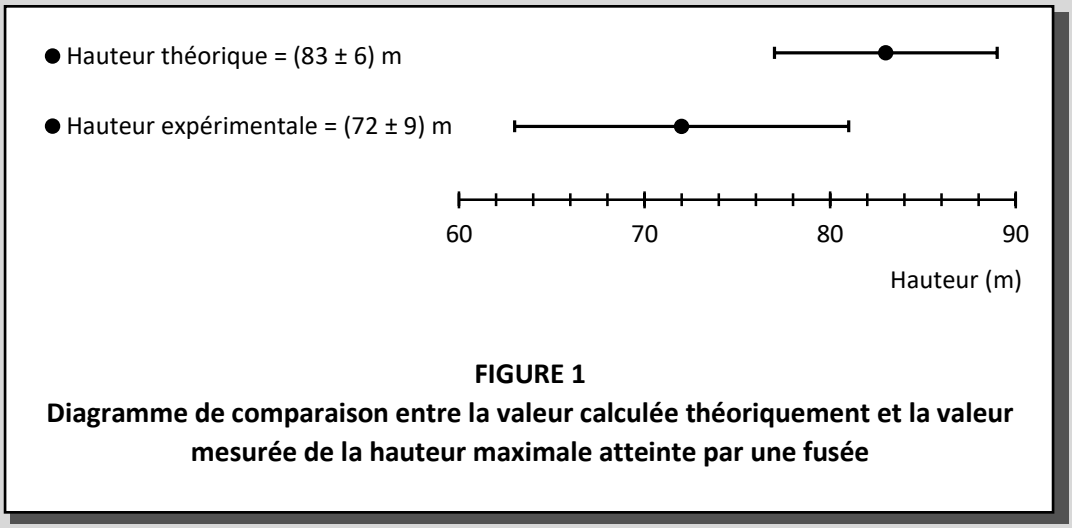


FIGURE 1
Diagramme de comparaison entre la valeur calculée théoriquement et la valeur mesurée de la hauteur maximale atteinte par une fusée

FIGURE 21
Présentation attendue dans un rapport d'un diagramme de comparaison où les résultats sont égaux

9.3.3 Résultats inégaux

Lorsque des résultats n'ont aucune plage de valeurs communes, on dit qu'ils sont inégaux ou encore inexacts. En cas d'inégalité, il faut faire un calcul de l'écart en pourcentage, tel que présenté à la **SECTION 8.5**.

Exemple :
Soit la distance parcourue par un cycliste (x) calculée théoriquement et mesurée expérimentalement. La valeur théorique est de (50,5 ± 0,5) km et la valeur expérimentale est de (47 ± 2) km.
En considérant les valeurs précédentes, la différence entre la valeur maximale (51 km) et la valeur minimale (45 km) est de 6 km. Afin d'optimiser la représentation des valeurs, on opte pour des graduations de 0,5 km, avec une droite graduée de 45 km à 52 km. On remarque qu'il n'y a aucune plage de valeurs communes.

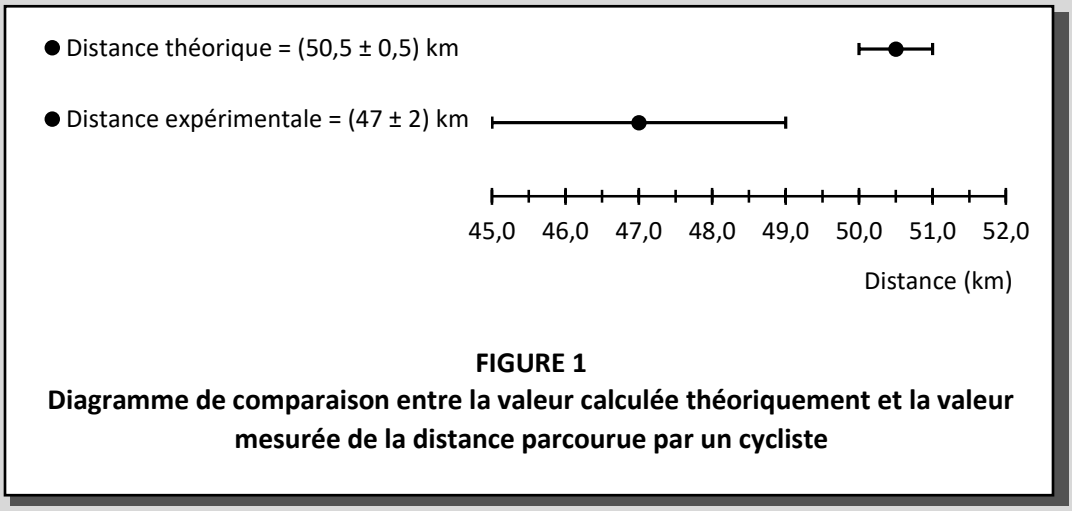


FIGURE 1
Diagramme de comparaison entre la valeur calculée théoriquement et la valeur mesurée de la distance parcourue par un cycliste

FIGURE 22
Présentation attendue dans un rapport d'un diagramme de comparaison où les résultats sont inégaux

9.4 Dessins d'observations au microscope

- Les dessins d'observation sont réalisés à l'intérieur d'un cercle, représentant le champ de vision du microscope, avec le souci de reproduire le plus fidèlement possible les détails ainsi que les proportions des structures observées.
- À moins d'avis contraire, tout ce qui se retrouve dans le champ de vision du microscope doit être représenté dans le dessin d'observation, d'où l'importance de choisir judicieusement un champ de vision clair, représentatif de l'objet étudié et pas trop surchargé.
- Les différentes structures sont reliées par un trait à leur identification à l'extérieur du cercle qui constitue la légende. Le trait doit toucher la structure identifiée.
- Lorsqu'il y a peu de structures à identifier, le cercle est placé dans la partie gauche de la page avec la légende à droite. Toutefois, lorsqu'il y a beaucoup de structures, on peut choisir de positionner le cercle au centre afin de disposer les identifications de la légende de chaque côté.
- Les traits de la légende doivent être tracés à l'aide d'une règle, ne pas s'entrecroiser, ne pas se terminer par une flèche et rejoindre les identifications à l'horizontale.
- Les identifications de la légende doivent se retrouver à l'extrémité des traits et être alignées.
- Le grossissement utilisé pour l'observation doit se retrouver en bas à droite du cercle (non dans le titre) et être précédé de G =. Le grossissement total du microscope est déterminé en multipliant le pouvoir grossissant de l'oculaire par celui de l'objectif.
- Le dessin d'observation doit être réalisé au crayon plomb, alors que tout le reste (légende, titre, grossissement) doit être écrit à l'encre.

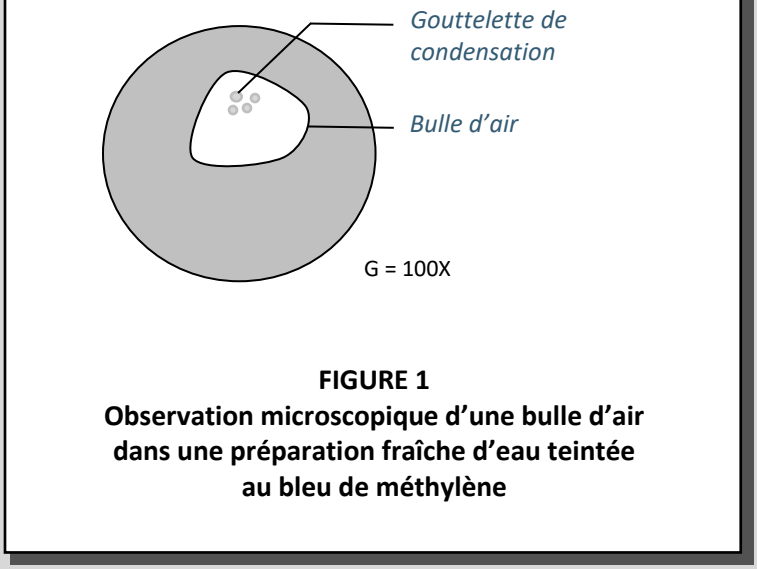


FIGURE 1
Observation microscopique d'une bulle d'air dans une préparation fraîche d'eau teintée au bleu de méthylène

FIGURE 23
Exemple de dessin d'observation microscopique en biologie